実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章　回路シミュレータ SPICE 入門（21）

真空管オペアンプ K 2-W でドライブした EL 34 シングル・パワー・アンプ

オペアンプで出力管をドライブすると，シンプルな回路にできます．一般的な IC オペアンプは最大出力電圧が±13 V 程度なのでドライブできる出力管は限定されますが，真空管オペアンプ K 2-W は最大出力電圧が±50 V 程度あるため，ほとんどの出力管をドライブできます．

今回シミュレーションする回路を**第1図**に示します．EL 34 のカソード電流を安定化するため，EL 34 のカソードからオペアンプの反転入力に DC 負帰還をかけています．

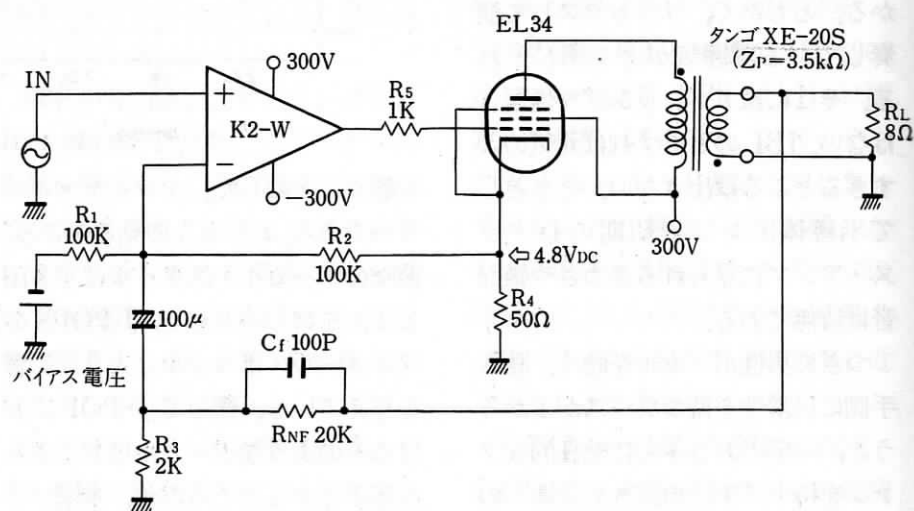
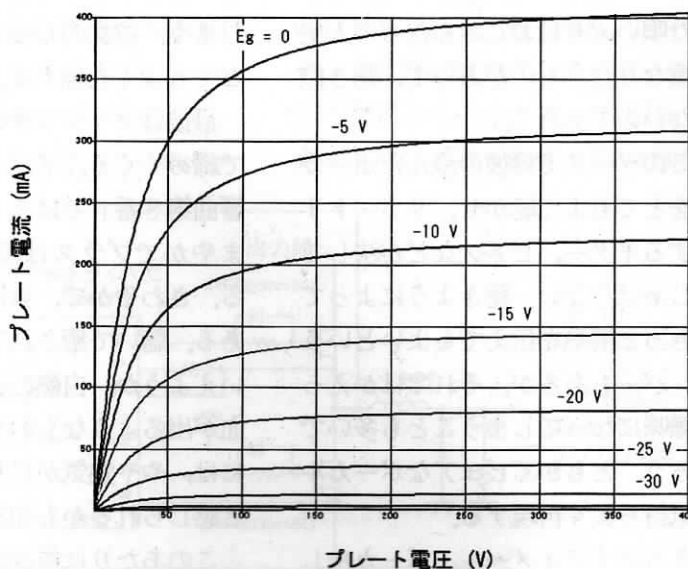
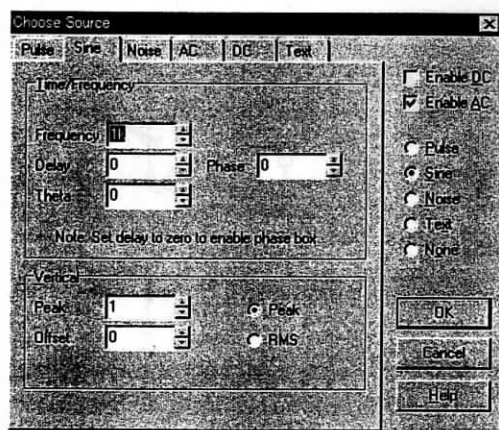
Koren 氏のモデルを用いた EL 34 プレート特性のシミュレーション結果を**第2図**に示します．

プレート電圧　(V)	250	300
スクリーン電圧　(V)	250	300
カソード抵抗　(Ω)	106	190
負荷抵抗　(kΩ)	2	3.5
プレート電流　(mA)	100	83
スクリーン電流 (mA)	15	13
入力電圧　(Vrms)	8.0	8.2
出力　(W)	11	11
全調波ひずみ率　(%)	10	10

〈第1表〉 EL 34 の A 級シングル動作例

データ・シート[1]によれば EL 34 シングル・パワー・アンプは R_L＝3.5 kΩ，E_{bb}＝300 V で 11 W の出力が得られます（**第1表**）．実際には出力トランスの損失やカソード抵抗（第1図の R_4）の損失があるので，最大出力は 10 W ぐらいでしょう．

回路図ファイルの作成

第1図の回路を SIMetrix で作成しましょう．出力トランス/タンゴ

▲〈第1図〉 K 2-W 真空管オペアンプを使った EL 34 シングル・アンプの回路

〈第2図〉▶ E_{C2} 300 V の EL 34 の E_b-I_b 特性. Koren のモデルによるシミュレーション

〈第8図〉 V 2の属性をこのように設定する

れます．その内容は2004年3月号p.145第3図の設定内容とまったく同じです．つまり，回路をコピーすると，コンポーネントの属性も自動的にコピーされるのです．

(2) 回路図を完成させる

第5図のEL 34は3結ですが，本来の5極管接続にしてください．スクリーン・グリッド電圧は300 Vにします．オペアンプK 2-Wは，2004年7月号でサブサーキットを作成してライブラリに登録ずみですから，回路図ウィンドウのメニューから[Place]→[From Model Library...]をクリックしてください．あるいはCtrlキーを押しながらGキーを押してください．

第7図のダイアログボックスが開きます．左のリストから[Opamps]を選択し，右のリストからK 2-Wを選択してください．

ポテンショ・メータVR 1はメニューの[Place]→[Passives]→[Potentiometer]をクリックし貼り付けます．

① K 2-Wの反転入力DC電圧

② K 2-Wの出力DC電圧

③ EL34のカソードDC電圧をシミュレーションするため，バイアス・マーカーを配置します．バイアス・マーカーはメニューの[Place]→[Bias Annotation]→[Place Marker]

をクリックして呼び出します．

入力電圧V2の属性は，片ピーク振幅＝1 V，周波数＝1 kHzの正弦波に設定し，またEnable ACをチェックしてください(**第8図**)．その他のコンポーネントを配置し，**第9図**の回路図に仕上げてください．

シミュレーション

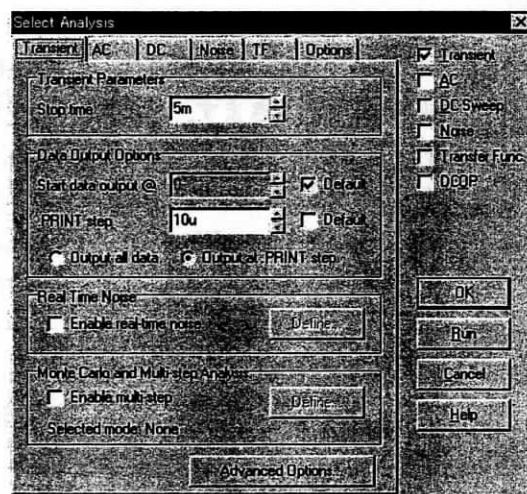
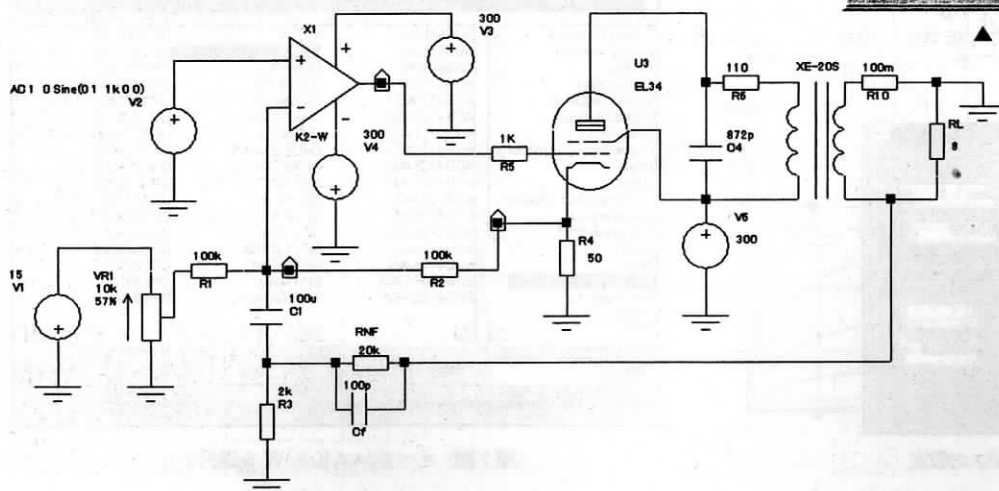
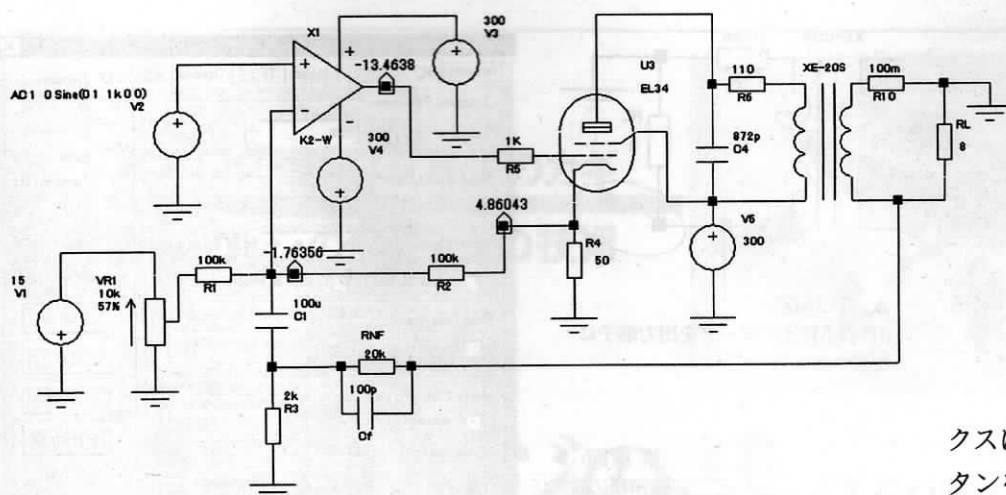
(1) 動作点の電圧

バイアス・マーカーをつけたポイントのDC電圧をシミュレーションしましょう．回路図ウィンドウのメニューから[Simulator]→[Choose Analysis...]をクリックし，開いたダイアログボックスを**第10図**のように編集してください．解析の種類は[Transient]を指定します．そしてダイアログボックスの[Run]ボタンをクリックしてください．回路図に動作点のDC電圧が表示されます(**第11図**)．

K 2-Wの反転入力
　＝−1.76356 V
K 2-Wの出力端子
　＝−13.4638 V
EL 34カソード端子
　＝4.86043 V

となっています．

オペアンプの反転入力電圧はK 2-Wの入力オフセット電圧に等しくなります．もし入力オフセット電圧がゼロならば，**第1図**のバイアスを−4.8 Vに設定すればよいのですが，入力オフセット電圧がこのように大きいので，**第1図**のバイアス電圧Vbiasは，

$$-15\times0.57=-8.55\ \ [\mathrm{V}]$$

▲〈第10図〉 過渡解析の設定

◀〈第9図〉
シミュレーション回路．
バイアス・マーカーを3コ配置する

〈第11図〉 バイアス・マーカーの先に動作点の DC 電圧が表示される

〈第12図〉 VR 1の設定

としなければなりません．話が前後しますが，ポテンショ・メータ VR 1の設定は，VR 1のシンボルをクリックし，F 7キーを押して現れたダイアログボックスを**第12図**のように編集します．

(2) 周波数特性のシミュレーション

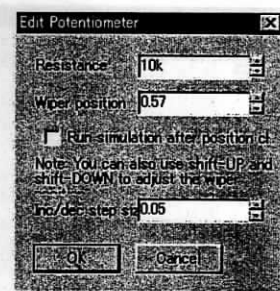
回路図ウィンドウのメニューから[Place]→[Bias Annotation]→[Delete Markers] をクリックし，バイアス・マーカーを削除してください．AC 解析で周波数特性をシミュレーションしましょう．メニューから [Simulator]→[Choose Analysis...] をクリックし，現れたダイアログボックスを**第13図**のように編集します．すなわち，

Start frequency : 1
Stop frequency : 1 Meg
Points per Decade : 25

無帰還時（第9図の $R_{NF}=\infty$）と帰還時 ($R_{NF}=20\ k\Omega$) の周波数特性曲線を表示させるため，マルチステップ解析を行います．**第13図**のように，Enable multi-step をチェックし，[Define...] ボタンをクリックしてください．そして現れたダイアログボックスを**第14図**のように編集します．すなわち，

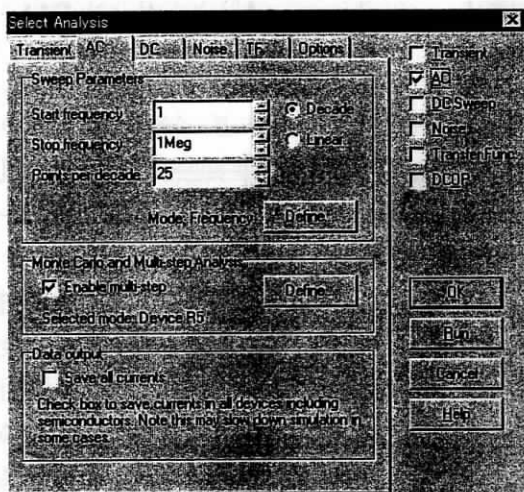
Sweep mode : Device
Device name : RNF
Step Parameter : List

そして [Define List...] ボタンをクリックし，[Define List] ダイアログボックスが現れたら**第15図**のように編集します．

具体的にいうと，まず入力ボックスに 20 k と書き込んで [Add] ボタンをクリックし，それから入力ボックスに 1 G と書き込んで [Add] ボタンをクリックすると，**第15図**の設定になります．[OK] ボタンをクリックして**第14図**のダイアログボックスに戻り，その [OK] ボタンをクリックしてください．**第13図**のダイアログボックスに戻るので，その [OK] ボタンをクリックしてください．

つぎに dB 表示電圧プローブを回路図に配置します．メニューから [Probe AC/Noise]→[Fixed dB Probe]をクリックし，プローブを**第16図**の位置に配置します．

F 9キーを押し，Run してください．**第17図**の周波数特性が得られます．

(3) 過渡解析

ひずみ率特性をシミュレーションしましょう．フーリエ解析を利用しますが，そのためにはまず過渡解析をしなければなりません．**第16図**の“dB 表示電圧プローブ”を除去し，その位置に“電圧プローブ”を配置してください．“電圧プローブ”はメニューの [Probe]→[Place

◀ 〈第13図〉 AC 解析の設定

〈第14図〉 ▶ Define Multi Step Analysis ダイアログボックスの設定